

## Dans les pas de Priestley

François Lusignan et Jean-Louis Alayrac

Joseph Priestley est avant tout un « touche-à-tout scientifique ». Sa manière de chercher des réponses aux problèmes qui se posent est basée sur l'expérience et l'intuition. Or cette façon de procéder est tout à fait intéressante pour travailler avec des élèves, car elle se rapproche de la démarche d'investigation qui permet de construire des connaissances.

Le principe complet de la photosynthèse est assez compliqué, mais il est possible d'en aborder simplement certains aspects. Joseph Priestley a mis en évidence un phénomène très important : le rejet d'oxygène par les plantes. Il ne maîtrisait pas pour autant les notions de biochimie et de physiologie qui permettront plus tard à Otto Warburg et Warbus Negelein d'expliquer plus complètement le mécanisme de la photosynthèse.

L'objectif de cette activité pédagogique est de découvrir un principe simple puis d'en enrichir la compréhension au fil de la scolarité pour élaborer le concept de photosynthèse.

### Poser un problème à partir du récit pour enfants

Aujourd'hui, les élèves ont très souvent entendu parler du rôle que jouent les plantes pour que l'atmosphère soit respirable. La presse pour enfants présente assez souvent des documents sur les conséquences de la déforestation, elle-même liée à la surconsommation de papier dans le monde. Les forêts sont fréquemment assimilées à un « poumon de la Terre », une métaphore qui pourra d'ailleurs servir de point d'appui à une discussion avant et après un travail sur la respiration des plantes.

Les connaissances dont disposent les enfants sur le rôle des plantes dans la composition de l'atmosphère ne constituent que rarement un véritable savoir constitué et cohérent. En prenant appui sur le questionnement et les hypothèses émises dans la discussion entre Priestley et Franklin, les élèves vont toutefois pouvoir les mobiliser :

« [...] en tirant sur votre pipe, vous aspirez de l'air et le tabac brûle plus fortement. Par conséquent, l'air est responsable de la combustion... »

« [...] La respiration et la combustion sont [...] une seule et même chose ! [...] Elles consomment le bon air, l'air frais, l'air qui alimente le feu et la vie, et elles le remplacent avec du mauvais air, de l'air usé. [...] »

« [...] Au cours du temps, le bon air aurait dû disparaître en ne laissant que le mauvais [...]. »

« À moins, bien entendu, que quelque chose ne remplace le mauvais air par

du bon. »

En analysant progressivement le texte et en le confrontant à leurs propres représentations, les élèves pourront se poser le problème scientifique tel que se le sont posé Priestley et Franklin, émettre des hypothèses et les soumettre à l'épreuve de l'expérience.

Cette phase initiale de problématisation est une étape essentielle de la démarche car elle permet à la classe de développer une recherche expérimentale sur un problème global : quel est le rôle des plantes dans le maintien de la qualité de l'air ?

### **Exemple d'utilisation du texte**

Le début du texte est fondamental pour comprendre quelles sont les connaissances de l'époque et comment Joseph Priestley les mobilise pour poser le problème :

« [...] Comment pouvons-nous continuer à respirer, alors que nous aurions dû utiliser tout le bon air depuis longtemps ?

– Il me paraît évident que votre théorie est fausse.

– À moins, bien entendu, que quelque chose ne remplace le mauvais air par du bon. »

Franklin leva les yeux, surpris :

« Oui. C'est très juste. Mais qu'est-ce que cela pourrait être ? demanda-t-il, excité par cette révélation.

– Je ne sais pas... » avoua Priestley.

Les deux savants font ici référence à des travaux qui vont pouvoir guider – en les déstabilisant parfois – les élèves :

« Bien. Maintenant, nous savons par ailleurs que si nous plaçons une bougie allumée sous une cloche étanche en verre, la flamme finit par s'éteindre. Donc, la cause de la combustion de la chandelle a disparu, ou elle a été absorbée par l'air. Si nous répétons l'expérience avec une souris, elle meurt. »

Ce passage est très important car il permet aux élèves de constater qu'un être vivant ne peut pas vivre sans air renouvelé – certains diront sûrement « sans oxygène », un terme qu'ignorait Priestley. Comme les élèves n'ont sans doute pas tous réalisé l'expérience de la bougie, l'enseignant pourra proposer à la classe de vérifier, si comme le dit Franklin dans le texte, une bougie placée sous une cloche finit bien par s'éteindre. Le texte montre que la bougie en train de brûler se comporte comme un être vivant, elle a besoin d'oxygène pour pouvoir se consumer. Ce parallèle n'est pas forcément évident pour les enfants et dans tous les cas, l'enseignant devra vérifier et expliciter si besoin l'analogie entre la combustion de la bougie et la respiration. Ce parallèle est d'ailleurs repris dans la suite du texte :

« Donc la souris doit consommer la même chose que la bougie. La respiration et la combustion sont par conséquent une seule et même chose ! Elles doivent faire la même chose à l'air. Elles consomment le bon air, l'air frais, l'air qui alimente le feu et la vie, et elles le remplacent par du mauvais air, de l'air usé. C'est

pour cela que la chandelle s'éteint et que la souris suffoque. »

D'autre part, les élèves connaissent les dangers d'asphyxie liés à des jeux dangereux avec des sacs en plastique, un risque décrit par Franklin dans le texte :

« J'ai fait une expérience intéressante l'autre jour [...]. Inspiré par vos travaux sur les souris, j'ai mis un sac sur ma bouche et j'ai respiré jusqu'à ne plus pouvoir. J'en ai conclu qu'un gaz irrespirable s'échappait de mon corps quand j'expirais. C'est votre mauvais air, non ? »

L'autre intérêt de l'utilisation de la bougie est qu'elle donne une clé pour l'expérimentation. Nul besoin d'utiliser des êtres vivants, on peut contrôler la qualité de l'air grâce à une bougie. C'est un élément important pour imaginer des protocoles expérimentaux et l'enseignant peut d'ailleurs profiter de ce dernier passage pour mentionner la nécessité de respecter les êtres vivants lors de la mise en œuvre d'expériences. L'utilisation d'animaux dans le cadre d'expériences scientifiques est réglementée et les scientifiques ne doivent y recourir qu'en l'absence d'alternative.

À partir de cette première partie, le problème est posé : comment est-il possible que nous puissions continuer à respirer dans notre atmosphère finie alors que, depuis des millions d'années, les hommes et les animaux rejettent du « mauvais air », c'est-à-dire du gaz carbonique ?

## **Émettre des hypothèses et les vérifier expérimentalement**

Les élèves peuvent alors émettre des hypothèses. Une contrainte importante consiste dans le fait que les hypothèses envisagées devront pouvoir être vérifiées par des expériences, ce qu'il faudra préciser.

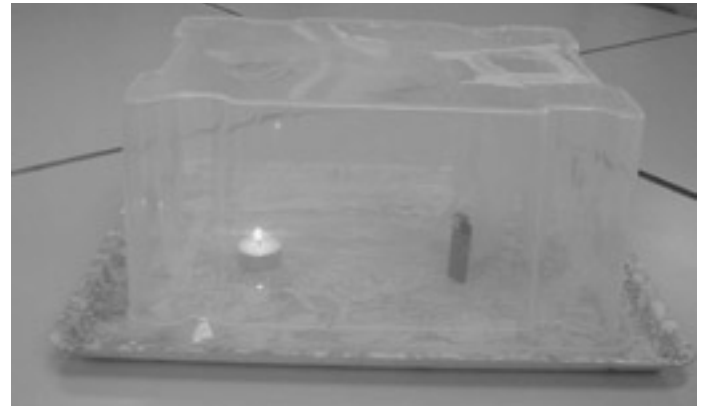
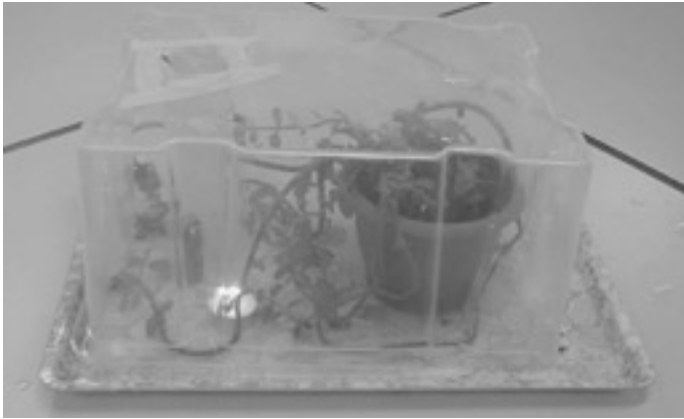
Grâce à leurs connaissances, même partielles, les enfants pensent généralement que les plantes jouent un rôle important en « renouvelant l'air », en « dégageant de l'oxygène » ou en « absorbant le gaz carbonique ». Il sera donc possible de leur proposer de tester ces idées.

### **Premières expériences et premiers obstacles**

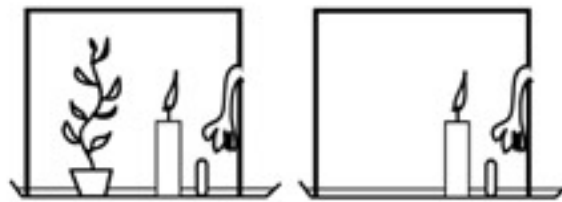
Les élèves doivent imaginer des expériences. Celle qui est le plus souvent proposée consiste à reprendre le contexte « cloche » avec une bougie et une plante, c'est-à-dire à créer une enceinte confinée.

Les expériences proposées ont été notées au tableau puis confrontées. Sur cinq groupes, trois expériences étaient identiques, un groupe n'a rien produit et le dernier a proposé quelque chose qui ne correspondait en rien à l'expérimentation de Priestley.

Nous avons ensuite discuté ensemble du déroulement de l'expérience à mener. Pour cela les élèves avaient demandé un chronomètre, une bougie, des allumettes, un seau transparent et une plante de petite taille (en fonction de celle du seau).



Exemple de montage réalisé par la classe de Perpignan. À gauche, avec une plante ; à droite, sans plante.



Dispositif avec témoin

Ils ont procédé à l'expérimentation. D'abord, ils ont mis la bougie allumée sous le seau et ils ont chronométré jusqu'à ce qu'elle s'éteigne (environ 4 min 38 s).

Ensuite, ils ont placé la bougie allumée ainsi que la plante et ils ont chronométré. Le résultat a été à peu près identique. Ils ont à nouveau essayé, sans changement.

Les élèves étaient très surpris, ils ne comprenaient pas pourquoi l'expérience « n'avait pas fonctionné »...

Cette expérience n'a pas abouti au résultat escompté car, dans un temps aussi court, la plante ne fournit pas une quantité d'oxygène suffisante pour parvenir à un résultat visible. Elle est néanmoins très intéressante car déstabilisante. En effet, une première conclusion pourrait être : une plante ne permet pas de « renouveler l'air » ou de « produire de l'oxygène » puisque la bougie s'éteint sous la cloche. Ce qui est en contradiction avec ce que les élèves ont souvent entendu... Ils peuvent dès lors débattre, proposer de nouvelles hypothèses. Et pour ne pas en rester là, il est alors possible de leur proposer un document simple présentant les échanges gazeux entre les plantes et les animaux (sur le cédérom).

L'annexe explique que les plantes absorbent le gaz carbonique et fournissent de l'oxygène grâce à une réaction chimique appelée « photosynthèse ». Le problème de la contradiction entre l'expérience et le document peut donc être posé : pourquoi la bougie, qui a besoin d'oxygène, s'éteint-elle, alors que la plante fournit bien de l'oxygène ?

Il est possible de laisser les élèves continuer à chercher et à concevoir de nouvelles expériences. Si l'idée d'une production lente d'oxygène est évoquée, les enfants peuvent relancer une série d'expérimentations. En revanche, s'ils ne proposent rien, on peut rebondir en utilisant une nouvelle partie du texte :

« Le jour suivant, dans son laboratoire, Priestley s'occupa activement à préparer son expérience. Il prit des brins de menthe de son thé matinal et les plaça sous la cloche étanche avec une bougie. Il alluma la bougie avec une loupe qui focalisait les rayons du soleil. La bougie s'alluma, brûla un moment et s'éteignit. Priestley laissa alors la cloche avec la bougie et les brins de menthe pendant plusieurs jours. »

Deux données peuvent être utilisées. Tout d'abord, Joseph Priestley allume sa bougie avec une loupe ! Pourquoi cette complication ? (À ce propos, les élèves pourront vérifier que dans les années 1770, les gens possédaient déjà des briquets, même s'ils étaient différents de ceux d'aujourd'hui : <http://membres.lycos.fr/chipe/allumettes.html> ; [http://www.resfortuna.com/Autres/rf\\_au\\_hist\\_allumettes.htm](http://www.resfortuna.com/Autres/rf_au_hist_allumettes.htm) ; <http://fredfilu.free.fr/HISTOIRE.htm> )

Autre indication capitale : « Priestley laissa alors la cloche avec la bougie et les brins de menthe pendant plusieurs jours. » Même si les élèves ne perçoivent pas tout de suite l'intérêt d'allumer la bougie avec une loupe, ce qui évite de soulever la cloche et donc de renouveler l'air, cet aspect leur apparaîtra lors de la mise en œuvre de l'expérience. En revanche, l'intuition géniale de Priestley de laisser passer un certain temps pour permettre à la plante de produire de l'oxygène est une donnée qui permet de relancer des expériences.

### **Nouvelle série d'expériences et nouveaux obstacles**

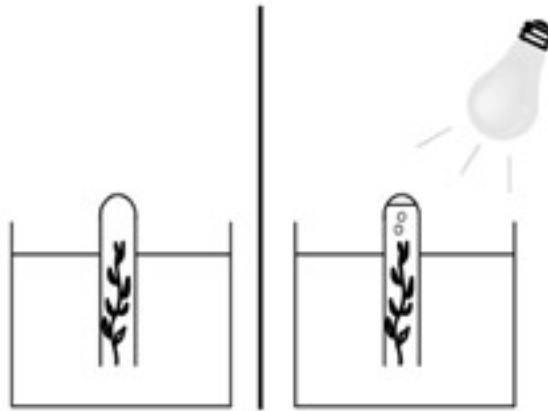
Dans ce second temps, la conception des expériences n'est pas compliquée d'un point de vue intellectuel, mais un problème technique apparaît rapidement : comment, donc, rallumer la bougie au bout d'une semaine sans soulever le récipient, ce qui modifierait la nature des gaz emprisonnés ?

L'indice de la loupe sera peut-être réactivé par les élèves. Il pose cependant deux problèmes mineurs : d'une part, il faut du soleil et d'autre part, le récipient servant de cloche doit être transparent (un bocal par exemple... mais attention de ne pas mettre le feu à la plante ! De plus grande taille, un aquarium serait plus adapté

Il est aussi possible de laisser les élèves imaginer un système différent. L'idée d'une boîte dans laquelle on entrerait la main sans faire pénétrer d'air est une solution tout à fait intéressante, même si, techniquement, elle est un peu difficile à réaliser, notamment en ce qui concerne l'étanchéité (photos page suivante).

Nous avons utilisé une boîte en carton avec des parois en plastique transparent pour que la plante ait de la lumière et qu'elle puisse fabriquer de l'oxygène. À l'intérieur de la boîte, nous avons aussi mis une bougie allumée qui consomme l'oxygène et un briquet pour pouvoir la rallumer. Aux parois du carton, nous avons fixé un gant en caoutchouc pour pouvoir rallumer la bougie sans soulever le carton (pour éviter que l'air ambiant ne pénètre à l'intérieur du carton).

Le maître peut aider les élèves sur certains aspects, notamment le découpage du bac ou du carton, et surtout réaliser l'étanchéité de la fixation du gant contre la paroi. Pour le carton, il est recommandé de bien scotcher à l'extérieur



comme à l'intérieur toute partie (pliure, rabat, angle) qui pourrait laisser entrer de l'air. Dans le cas où une classe utiliserait un bac en plastique, le placer sur un plateau contenant de l'eau assurera une parfaite étanchéité.

Ce dispositif en place, la bougie pourra effectivement être rallumée sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir la boîte.

## **Un aspect important de la démarche scientifique : le contrôle des paramètres**

Ces expériences permettent à l'enseignant de sensibiliser les élèves à un aspect très important de la démarche scientifique : la gestion des variables, ou paramètres. En effet, si les élèves veulent prouver que les plantes dégagent de l'oxygène, il leur faudra mettre en place un dispositif permettant de le mettre en évidence. La variable mesurée sera l'influence de la présence d'une plante. Les élèves devront concevoir une expérience avec un témoin (comparaison directe) – comme dans toute expérience scientifique avec témoin, tout devra être identique (bougies, récipients, lieux, température, lumière, etc.), sauf la variable que l'on cherche à mesurer ; en outre les bougies devront être allumées en même temps – ou bien, avec un seul dispositif, vérifier qu'on ne peut rallumer la bougie qu'à la condition qu'une plante soit présente (comparaison différée).

L'enseignant devra amener les élèves à confronter les protocoles pour en défendre la validité. Cette phase de débat est fondamentale : elle permet aux enfants d'anticiper et donc de mieux s'approprier le problème à résoudre.

## **Pour aller plus loin dans la compréhension de la photosynthèse**

### **Ce que montre l'expérience et ce qu'elle ne montre pas**

Grâce à son expérience, Joseph Priestley a montré que la végétation « restaur[ait] le bon air » qui permet aux animaux de vivre sur la Terre. Mettre en évidence cette interdépendance entre les végétaux et les animaux fut une découverte fondamentale et c'est pourquoi Priestley est parfois cité comme l'un des fondateurs de la biologie moderne. En revanche, il est complètement passé

à côté de l'importance de la lumière dans ce processus. Pour les besoins de l'expérience, il fallait contrôler la combustion de la bougie et permettre un allumage avec une loupe : Priestley a utilisé une cloche transparente sans faire la relation avec le rôle fondamental de la lumière dans la photosynthèse.

Il peut être tout à fait intéressant d'amener les élèves à réfléchir à d'autres expériences qui compléteront leur première compréhension du phénomène de la photosynthèse. Quand on lit l'histoire de cette découverte, il apparaît clairement que c'est le travail de plusieurs personnes, à différentes époques, utilisant des moyens d'investigation différents, qui a permis d'aboutir à notre connaissance actuelle de la photosynthèse. Il est possible de proposer aux élèves de travailler sur un document présentant l'historique de la découverte, l'objectif de ce travail sera alors plus épistémologique que scientifique.

Sites présentant un historique des recherches sur la photosynthèse :

– un texte simple accessible aux élèves : <http://tpesolaire.bonnet-ribeau.net/hist.phot.htm>

– un site complet qui présente un historique détaillé pour les enseignants : [http://www.mss.qc.ca/intranet/Cours/Chimie/expo\\_sciences/recherches/photosynthese.html#historiquedesdecouvertes](http://www.mss.qc.ca/intranet/Cours/Chimie/expo_sciences/recherches/photosynthese.html#historiquedesdecouvertes)

### **D'autres expériences pour aller plus loin**

Il est aussi possible de proposer à la classe de s'interroger sur d'autres dispositifs expérimentaux complémentaires qui ne sont pas concevables par les élèves dans le cadre d'une investigation.

### **Les facteurs de croissance des végétaux**

En 1727, Stephen Hales, un chimiste anglais, publia un ouvrage dans lequel il déclarait que la lumière et l'air devaient être des facteurs de la croissance des plantes. Ces recherches influencèrent Priestley. Il serait donc logique que les élèves aient étudié les facteurs de croissance des végétaux avant de s'intéresser aux travaux de Priestley. Pour le paramètre air, les expériences sont difficiles mais d'autres paramètres peuvent être étudiés : les besoins en eau, chaleur, lumière.

Exemple d'activités sur ce sujet : <http://www.perigord.tm.fr/~ecole-scienc/PAGES/MONVIV/GRAINES4/SoMod.htm>

### **Le rôle de la lumière dans le mécanisme de la photosynthèse**

Si l'on reprend l'ordre chronologique, on trouve, après Priestley, Johannes Ingen-Housz, médecin et botaniste néerlandais, autre expérimentateur touche-à-tout de génie qui va apporter des éléments nouveaux. Il démontre que les plantes produisent cet « air renouvelé » ou oxygène uniquement en présence de lumière.

Bien entendu, il serait inconcevable d'étudier finement le déroulement des réactions chimiques lors de la photosynthèse avec de jeunes élèves. Mais on peut chercher à démontrer, comme Ingen-Housz, que la lumière est indispensa-

ble à la photosynthèse, donc au dégagement d'oxygène.

Si l'on met en place une expérience comparable à celle de Priestley, mais dans le noir, avec un récipient opaque, un trou obturable permettant de surveiller la combustion, on ne pourra jamais rallumer la bougie, même en attendant plus longtemps. La lumière est donc indispensable à la photosynthèse.

### **Des plantes et des bulles**

Un moyen facile de montrer la relation entre l'intensité lumineuse et l'efficacité de la photosynthèse consiste à placer un rameau de plante aquatique dans un tube à essai plein d'eau renversé sur une cuvette. Un système d'éclairage permet de faire varier le paramètre lumière

Cette expérience (figure page suivante) permet en outre de faire apparaître visuellement un gaz sous forme de bulles. C'est un obstacle bien connu : lorsqu'on veut faire travailler des élèves sur la mise en évidence d'un gaz invisible, on ne voit rien ! Sauf si l'on travaille dans un milieu aquatique.

Cette expérience ne peut être conçue par les élèves mais le dispositif expérimental peut être présenté par le maître et interprété par la classe : plus la plante est éclairée et plus elle dégage de l'oxygène.

Notons ici que, même sans lumière, il y a un tout de même un petit dégagement gazeux. Il s'agit de dioxyde de carbone, car la plante respire aussi, comme tout être vivant. Elle consomme de l'oxygène et rejette du gaz carbonique, mais cet échange gazeux est négligeable en volume par rapport à celui produit par la photosynthèse.

Car la photosynthèse est un mécanisme complexe : les plantes absorbent le gaz carbonique (ou dioxyde de carbone,  $\text{CO}_2$ ), rejettent de l'oxygène ( $\text{O}_2$ ) et utilisent le carbone fixé et de l'eau pour synthétiser les sucres nécessaires à leur développement grâce à la lumière du Soleil.

Sans entrer, nous l'avons déjà dit, dans le détail de ces réactions biochimiques, il serait très dommage de travailler sur la photosynthèse sans expliquer simplement aux élèves que ce phénomène permet à la plante de se nourrir – ainsi, qu'indirectement, aux animaux puisque toutes les chaînes alimentaires dépendent de la production végétale chlorophyllienne. Les plantes sont le premier maillon indispensable des chaînes alimentaires. Les élèves pourront relier cette connaissance à d'autres sujets d'étude portant sur le fonctionnement des écosystèmes.

Exemple d'activités sur ce sujet :

<http://www.perigord.tm.fr/~ecole-scienc/PAGES/ENVORONN/SoEnviro.php>

### **Photosynthèse et climat**

Pour « recontextualiser » les connaissances construites par l'expérience, l'enseignant pourra proposer aux élèves d'étudier une conséquence du déséquilibre entre les mécanismes de respiration/combustion et de photosynthèse : pourquoi s'inquiète-t-on aujourd'hui de l'effet de serre ? L'objectif consistera simplement à montrer que ce déséquilibre provoque des bouleversements climatiques.



Les ressources sur ce sujet sont très nombreuses : sites Internet, presse, expositions (dont, récemment, « Climax », à la Cité des Sciences et de l'Industrie de la Villette). Les élèves, après avoir identifié les causes de l'effet de serre, pourront repérer les actions permettant de lutter contre une production excessive de dioxyde de carbone : protection des forêts, limitation de la puissance des voitures, isolation des maisons, développement des énergies renouvelables (solaire, éolienne, etc.).